

УДК 574.45

В.А. Усольцев^{1,2}, М.П. Воронов¹, К.В. Колчин¹
V.A. Usoltsev^{1,2}, M.P. Voronov¹, K.V. Kolchin¹

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург
² Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург

СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ

SINGLE-TREE BIOMASS STRUCTURE OF FOREST-FORMING SPECIES IN TRANSCONTINENTAL GRADIENTS OF EURASIA

Ключевые слова: *Larix Mill.*, *подрод Pinus*, *Picea L.*, *Abies Mill.*, *Betula L.*, *фито-масса дерева*, *фракции фитомассы*, *пробные площади*, *региональные различия*, *географические закономерности*, *трансконтинентальные градиенты*.

Впервые установлены трансконтинентальные градиенты фракционного состава фитомассы деревьев лесобразующих пород с учетом их региональных различий по возрасту, высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев. Масса всех фракций дерева у 50-летних берёз монотонно уменьшается в направлении с севера на юг, в то время как у 100-летних сосен и лиственниц она увеличивается, а у елей и пихт изменяется по колоколообразной кривой. Изменение фитомассы 50-летних деревьев в направлении от тихоокеанского и атлантического побережий к полюсу континентальности в Сибири характеризуется монотонным увеличением надземной, подземной и общей фитомассы, тогда как у хвойных 100-летних деревьев названные закономерности прямо противоположные. Причины подобных противоречий пока неизвестны. Возможно, это связано с различиями в изменении морфологической структуры древостоев хвойных и лиственных древесных видов в двух трансконтинентальных градиентах. Система полученных трансконтинентальных уравнений даёт возможность ее регионального использования при оценке фитомассы древостоев на 1 га на основе локальных данных перечета деревьев на единице площади.

Key words: *Larix Mill.*, *подрод Pinus*, *Picea L.*, *Abies Mill.*, *Betula L.*, *tree biomass*, *biomass components*, *sample plots*, *regional differences*, *geographical patterns*.

Transcontinental Eurasian dependences of biomass fractional composition of trees of forest-forming species, taking into account regional differences of trees by age, height, stem diameter, and volume, as well as stand density are reported for the first time. The biomass of all 50-year-old birch tree components decreases monotonically from the North to the South, while the biomass of 100-year-old pines and larches increases, and the same of spruces and firs changes according to the bell-shaped curve. Change of biomass of 50-year-old birch trees in the direction of the Pacific and Atlantic coasts to the pole of continentality in Siberia is characterized by a monotonous increasing aboveground, underground and total biomass, whereas the 100-year-old coniferous trees have opposite patterns of the same indices. The reasons for this controversy are not yet known. Perhaps this is due to the differences in the change of morphological structure of forests of coniferous and small-leaved species in two transcontinental gradients. The system of the reported transcontinental equations gives the opportunity to its regional use when evaluating forest biomass per ha.

Фитомасса лесов является их основной характеристикой, определяющей ход процессов в лесных экосистемах и используемой в целях экологического мониторинга,

устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учетом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова, оценки углерододепонирующей емкости лесов. Одним из способов количественной оценки углеродного обмена в лесу является определение изменений в запасах его фитомассы и углерода со временем. Изучение структуры фитомассы деревьев необходимо потому, что различные ее фракции имеют разное содержание элементов питания и разный вклад в ее годовую продукцию. Например, хвоя и ветви содержат около 50% азота в общей фитомассе и дают 40% годичной продукции, но составляют лишь около 15% общей фитомассы (Scarascia-Mugnozza et al., 2000; Mund et al., 2002).



Рис. 1. Лесной ландшафт смешанного породного состава Мулань Вэйчан в провинции Хэбэй, район Чэндэ, Китай (<http://hebeitour.ru/natural.ph>).

В последние годы за рубежом, в частности, в Канаде и Швеции, оценка биологической продуктивности лесов совмещается с лесоинвентаризацией (Bonnor, 1985; Ranney et al., 1987; Penner et al., 1997). При этом исходными данными для совмещения с материалами лесоинвентаризации служат регрессионные модели продуктивности фитомассы на уровне деревьев, составляющих эти древостои. Обычно таксационные нормативы ориентированы на оценку фитомассы одновидовых насаждений, хотя их доля в лесном фонде не велика, и смешанные насаждения занимают значительные площади (рис. 1). Для оценки их фитомассы необходимы таксационные нормативы для подеревного определения фитомассы.

Фитомасса деревьев трудно предсказуема вследствие ее высокой изменчивости и зависимости от условий произрастания и свойств дерева. Для ее оценки необходимы прямые измерения, очень трудоемкие и требующие применения «деструктивного» выборочного учета путем рубки модельных деревьев, фракционирования, взвешивания и сушки фракций - стволов, ветвей, листвы и корней. Фактические данные фитомассы деревьев публикуются в монографиях и очень редко - в научных статьях. Получаемая на пробных площадях информация обычно «сжимается», т.е. преобразуется в виде уравнений зависимости той или иной фракции фитомассы от одного или нескольких массообразующих показателей дерева. Известны десятки разных структурных форм уравнений (Crow, 1978, Усольцев, 1985, 1988, 1997; Wang et al., 2002; Kajimoto et al., 2006; Case, Hall, 2008; Hosoda, Iehara, 2010; Zianis et al., 2011; Stark et al., 2013; Bijak et al., 2013; Cai et al., 2013). Наибольшее распространение получила аллометрическая (степенная) зависимость фракций фитомассы от одного (диаметр ствола), двух (диаметр ствола и высота дерева), трех (диаметр, высота, возраст дерева) и более массообразующих, легко измеряемых показателей.

Публикуемые сводки насчитывают уже тысячи уравнений (Jenkins et al., 2004; Muukkonen, Mäkipää, 2006; Hosoda, Iehara, 2010), однако область применения их неизвестна. Использование опубликованных аллометрических уравнений в локальных условиях приводит к существенным смещениям. Например, фитомасса листвы берёзы бумажной, определённая в Китае по опубликованным уравнениям, составила в сравнении с фактическими локальными значениями от 50 до 140% и фитомасса ветвей - от 155 до 239%, а фитомасса листвы и ветвей осины соответственно от 72 до 81% и от 55 до 165% от фактических локальных значений (Wang et al., 2002).

Публикуемые сводки насчитывают уже тысячи уравнений (Jenkins et al., 2004; Muukkonen, Mäkipää, 2006; Hosoda, Iehara, 2010), однако область применения их неизвестна. Использование опубликованных аллометрических уравнений в локальных условиях приводит к существенным смещениям. Например, фитомасса листвы берёзы бумажной, определённая в Китае по опубликованным уравнениям, составила в сравнении с фактическими локальными значениями от 50 до 140% и фитомасса ветвей - от 155 до 239%, а фитомасса листвы и ветвей осины соответственно от 72 до 81% и от 55 до 165% от фактических локальных значений (Wang et al., 2002).

Казалось бы, чем больше независимых переменных привлечено для объяснения изменчивости фитомассы деревьев, тем в большей степени обеспечивается всеобщий

характер уравнения и шире область его применения (Jokela et al., 1986; Усольцев и др., 2006). Однако П. Муукконен и Р. Мякипя (Muukkonen, Mäkipää, 2006) установили, что уравнения, в которых использованы кроме диаметра и высоты ствола другие переменные, не могут быть распространены на другие географические регионы, поскольку эти дополнительные переменные отражают лишь локальные особенности местообитаний. Возможно, какие-то особенности местообитаний в разных географических регионах связаны с их зонально-климатическими характеристиками.

Именно к такому выводу пришли Х. Вирт с соавторами (Wirth et al., 2004): даже многофакторные модели подеревной фитомассы, рассчитанные по большим и достаточно репрезентативным исходным сводкам данных для двух обширных регионов, не могут претендовать на всеобщее применение, из-за расхождений, обусловленных принадлежностью данных к разным природным зонам.

Однако географический анализ тысяч опубликованных в мире аллометрических уравнений невозможен по причине их несопоставимости вследствие обилия разных структурных форм. Поэтому необходима база данных о фактической структуре фитомассы модельных деревьев, полученной на лесных пробных площадях, на основе которой можно исследовать трансконтинентальные закономерности структуры фитомассы на уровне отдельного дерева (кг).

Ранее на основе сформированной базы данных о фитомассе (т/га) пяти (Усольцев, 2016а) и затем семи (Усольцев, 2016б) лесообразующих пород Евразии в количестве соответственно 1746 и 2242 пробных площадей на территории от Великобритании до Японии и Китая установлены статистически значимые закономерности изменения удельной чистой первичной продукции в направлении с севера на юг и от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Сибири.

Цель настоящего исследования – по литературным источникам сформировать базу данных о фактической структуре фитомассы модельных деревьев (кг) лесообразующих пород Евразии, полученной на лесных пробных площадях, и установить закономерности её изменения по трансевразийским градиентам.

Объекты и методы исследования

Сформирована база данных пяти лесообразующих пород – двухвойных сосен (подвид *Pinus* L.), лиственниц (*Larix* Mill.), елей (*Picea* L.), пихт (*Abies* Mill.) и берёз (*Betula* L.) - соответственно в количестве 2685, 522, 1087, 180 и 1290 модельных деревьев, всего 5764 (Усольцев, 2016в; Usoltsev, 2015, 2016). Распределение количества модельных деревьев по древесным видам и странам приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение количества модельных деревьев основных лесообразующих пород по видам и странам

Вид	Систематическое название	Страна	Число модельных деревьев
Двухвойные сосны			
Сосна обыкновенная	<i>P. sylvestris</i> L.	Россия, Казахстан, Белоруссия, Китай Швейцария, Великобритания, Чехия, Словакия, Болгария, Латвия, Япония	2638
С. австрийская	<i>P. nigra</i> Arn.	Болгария	20
С. густоцветная	<i>P. densiflora</i> S.et Z.	Япония	11
С. китайская	<i>P. tabulaeformis</i> Carr.	Китай	8
С. ладанная	<i>Pinus taeda</i> L.	Япония	5
С. Тунберга	<i>P. thunbergii</i> Parl.	Япония	1

Продолжение таблицы 1

Вид	Систематическое название	Страна	Число модельных деревьев
С. веймутова	<i>Pinus strobus</i> L.	Япония	1
С. алеппская	<i>P. halepensis</i> Mill.	Ирак	1
Всего			2685
Лиственницы			
Лиственница сибирская	<i>L. sibirica</i> L.	Россия, Монголия	152
Л. Каяндера	<i>L. cajanderi</i> Mayr.	Россия	109
Л. Сукачёва	<i>L. sukaczewii</i> N. Dyl.	Россия	102
Л. японская	<i>L. leptolepis</i> Gord.	Япония	73
Л. Гмелина	<i>L. gmelinii</i> (Rupr.) Rupr.	Россия, Китай	37
Л. ольгинская	<i>L. olgensis</i> A. Henry	Китай	29
Л. европейская	<i>L. decidua</i> Mill.	Чехия, Швейцария, Россия	20
Итого			522
Ели и пихты			
Ель европейская	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	Россия, Германия, Швейцария, Чехия, Болгария, Бельгия, Латвия, Италия, Швеция	693
Е. сибирская	<i>P. obovata</i> L.	Россия	369
Е. Шренка	<i>P. schrenkiana</i> F. & C. A. Mey.	Китай	15
Е. аянская	<i>P. jezoensis</i> (S. & Z.) Carrière	Россия	7
Е. пурпурная	<i>P. purpurea</i> Masters	Китай	2
Е. корейская	<i>P. koraiensis</i> Nakai	Китай	1
Пихта сибирская	<i>Abies sibirica</i> L.	Россия	136
П. европейская (белая)	<i>A. alba</i> Mill.	Чехия	20
П. Вича	<i>A. veitchii</i> Lindl.	Япония	8
П. цельнолистная	<i>A. holophylla</i> Maxim.	Россия	7
П. белокорая	<i>A. nephrolepis</i> (Trautv.) Maxim.	Россия	7
П. сильная	<i>A. firma</i> Sieb. et Zucc.	Япония	2
Итого			1267
Берёзы			
Берёзы повислая и пушистая	<i>Betula alba</i> L.	Россия, Северный Казахстан, Англия, Азербайджан, Бельгия, Франция, Финляндия	1195
Б. плосколистная	<i>B. platyphylla</i> Sukacz.	Россия, Япония, Монголия, Китай	61
Б. кустарниковая	<i>B. fruticosa</i> Pall.	Россия	20
Б. ребристая (жёлтая)	<i>B. costata</i> Trautv.	Россия	7
Б. даурская (чёрная)	<i>B. dahurica</i> Pall.	Россия	7
Итого			1290
Всего			5764

Данные о фитомассе деревьев, представленные в табл. 1, объединены в пределах родов и структурированы в географическом плане. Совместный анализ разных видов в пределах рода (подрода) вызван невозможностью произрастания одного и того же древесного вида на всей территории Евразии (например, *L. decidua* Mill. и *L. leptolepis* Gord.), в результате чего ареалы древесных видов в пределах рода приурочены к определенным экорегионам. Последнее явление известно в хорологии растений как замещение видов: замещающие, или викарирующие виды растений возникают в случаях геологически давнего разобщения когда-то сплошного ареала (Толмачев, 1962) или вследствие климатически обусловленного морфогенеза (Чернышев, 1974). Ранее было установлено, что между фитомассой разновозрастных, равновеликих деревьев елей и пихт достоверных различий не выявлено как на региональном уровне в Швейцарии (Burger, 1939), так и на территории всей Евразии (Усольцев, 2016в). Поэтому географический анализ фитомассы елей и пихт выполнен нами совместно.

С целью выявления географических закономерностей в изменении структуры фитомассы деревьев в лесах Евразии каждая пробная площадь, на которой были взяты модельные деревья, позиционирована по зональным поясам (от 1-го до 5-го) на карте-схеме Евразии (рис. 2) и соотнесена с индексом континентальности на карте-схеме изоконт, рассчитанных по В. Ценкеру (рис. 3).

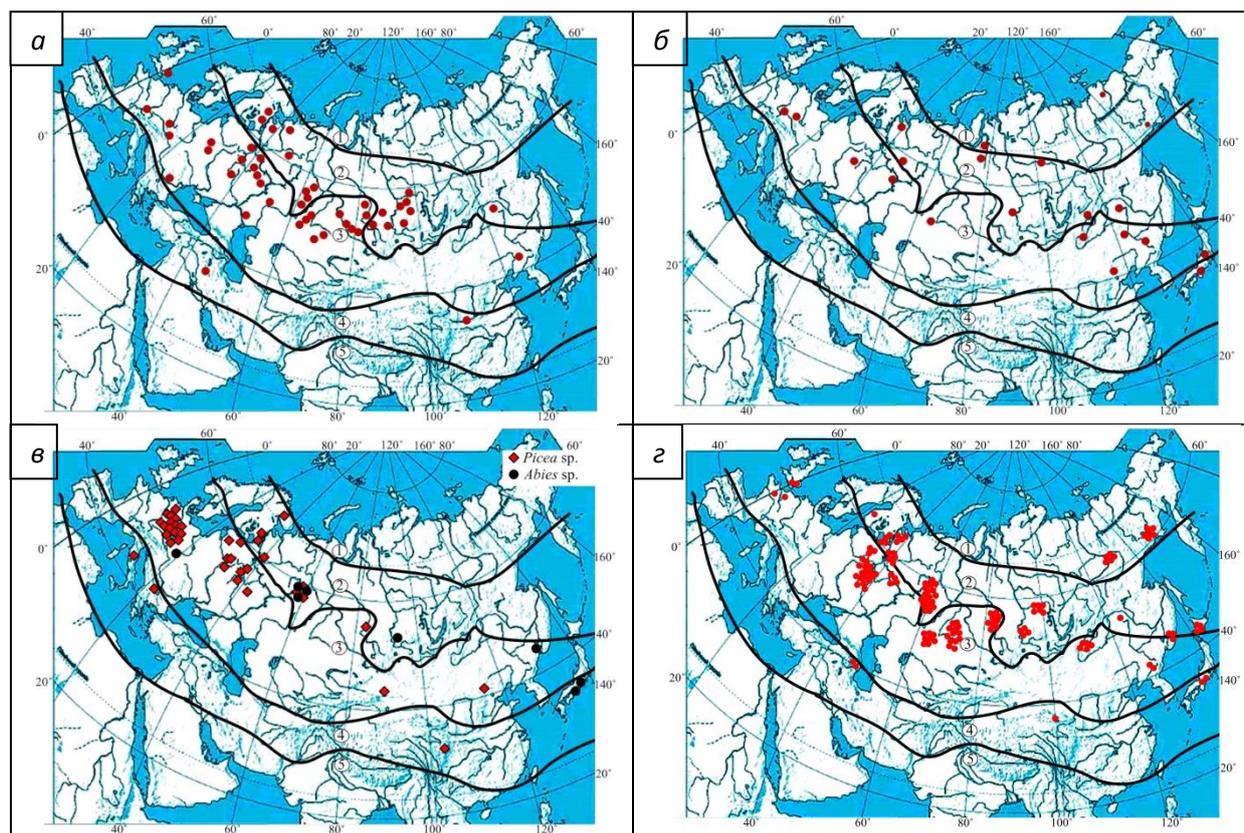


Рис. 2. Распределение пробных площадей, на которых определена фитомасса сосен (а), лиственниц (б), елей и пихт (в) и берёз (г) по зональным поясам: 1 – субарктический, 2 – северный умеренный, 3 – южный умеренный, 4 – субтропический, 5 – субэкваториальный (Алисов, Полтараус, 1974).

Известно, что основными таксационными показателями, определяющими фитомассу дерева, являются его возраст, диаметр и высота ствола. Индекс конкуренции также вносит существенный вклад в объяснение изменчивости фитомассы деревьев (Усольцев, 2013а), однако в опубликованных фактических подеревных данных фито-

массы индексы конкуренции (а их в литературе известно около 20) никогда не указываются. И напротив, практически всегда приводится густота древостоя, в котором определена фитомасса деревьев, и значение густоты (плотности стояния деревьев) может опосредованно характеризовать интенсивность конкурентных отношений, существенно влияющих не столько на массу ствола, сколько на массу кроны.

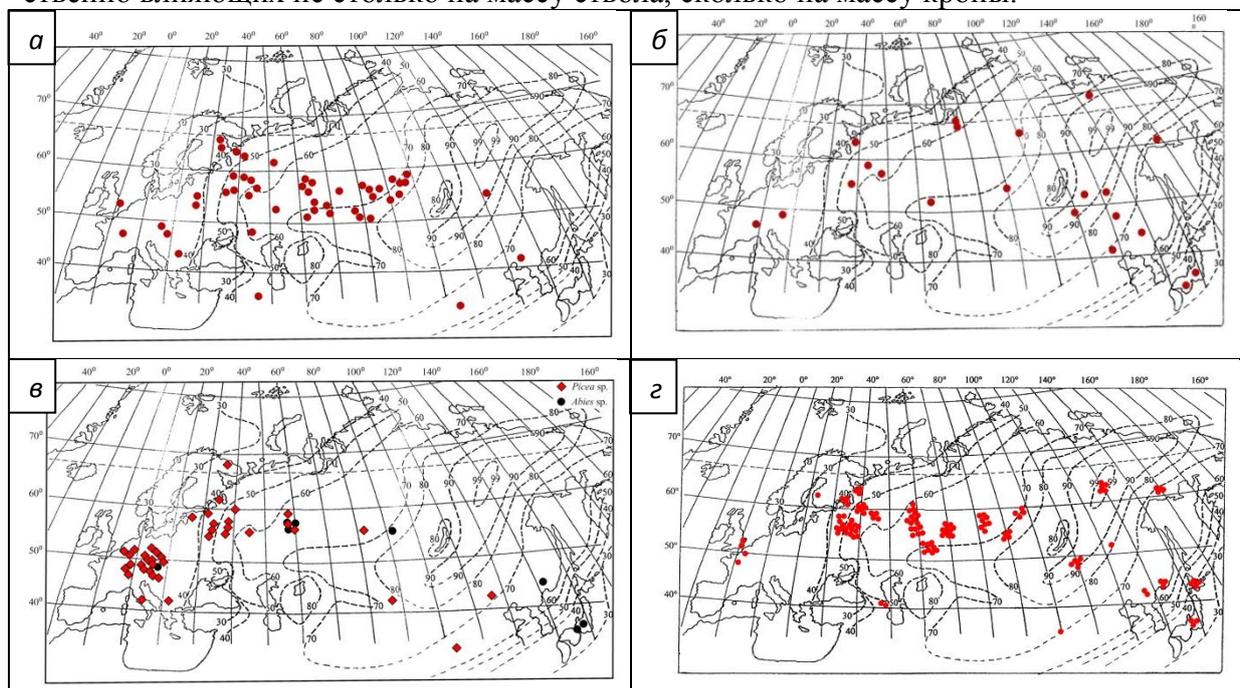


Рис. 3. Карта-схема изолиний континентальности климата Евразии, рассчитанных А.А. Борисовым (1967) по формуле В. Ценкера с нанесенным положением пробных площадей, на которых выполнено определение фитомассы сосен (а), лиственниц (б), елей и пихт (в) и берёз (z).

Проанализировав данные массы хвойной лапки (охвоённых побегов) в сосняках Северного Казахстана по материалам 1088 модельных деревьев, взятым на 87 пробных площадях, С.Б. Байзаков (1969) установил, что количество хвойной лапки дерева «теснее связано с густотой, чем с полнотой древостоев». Поэтому «положение о незаменимости полноты в таксации для количественного учёта не оправдывается применительно к количеству хвойной лапки деревьев сосны» (с. 9-10). Х. Вирт с соавторами (Wirth et al., 1999) считают густоту базовой характеристикой фитомассы, определяющей «экосистемную несущую способность» (с. 67). С ними согласны А.И. Бузыкин с соавторами (2002): «Густоту древесных ценозов необходимо признать базовой, или фундаментальной, структурно-функциональной характеристикой жизни древостоя» (с. 15). Впрочем, в литературе имеются и результаты, не подтверждающие выводы упомянутых авторов. В частности, Г. Баскервиль (Baskerville, 1965) установил, что густота древостоя не оказывает влияния на аллометрическое соотношение надземной фитомассы и диаметра ствола у пихты бальзамической на 18 пробных площадях в диапазоне густот от 1,7 до 12,0 тыс. экз/га.

Таким образом, основные таксационные показатели, определяющие фитомассу дерева и включенные в сформированную базу данных, - это возраст, диаметр ствола и высота дерева, а также густота древостоя, в котором определена фитомасса деревьев. Кроме того, введены объемы стволов и показаны координаты пробных площадей, необходимые при географическом анализе подеревных данных фитомассы.

Лесоводственная информация обычно представлена многомерными массивами данных, которые позволяют оценить искомую величину по совокупности известных параметров-факторов. При этом реализуется простейший вариант системного подхода

– расчет эмпирической многофакторной регрессионной модели, вычлняющей основные определяющие факторы воздействия в системе и дающей количественную оценку их совокупного эффекта в виде результирующих искомых величин.

Ранее был сделан, казалось бы, парадоксальный вывод (Усольцев, 2013б; 2016в) о том, что модель, построенная с соблюдением всех предписаний математической корректности, как то: поправка на логарифмирование по Д. Финни (Finney, 1941), проверка адекватности по критерию Х. Акайке (Akaike, 1974), тестирование нормальности распределения остатков по С. Гошу (Ghosh, 1996), - даёт существенно менее точный результат, чем модель, построенная без какого-либо ее соблюдения.

Из этого следует вывод, что важно не столько соблюдение статистической корректности модели, сколько обеспечение корректности её структуры путём предварительного содержательного анализа (Лиёпа, 1980). Необходимо, видимо, согласиться с мнением Е.М. Четыркина (1977), что если выполнять все статистические предписания как залог корректности многофакторной модели, то от применения множественного статистического моделирования придётся отказаться и довольствоваться скудным инструментарием. Сам процесс математического моделирования в принципе не формализуем, в противном случае полезность этого процесса была бы весьма ограниченной (Мазуров, 1987). Неслучайно поэтому построение моделей относят к сфере искусства, а создание «хорошей» модели воспринимается как большое достижение (Мак-Лоун, 1979; Ворошук, 1982).

На основе содержательного анализа многофакторного массива эмпирических данных фитомассы деревьев нами предложена структурная форма регрессионной модели:

$$\ln P_i \text{ или } P_i/P_a = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln V_t, \ln (Zon), \ln (ICC)), \quad (1)$$

где P_i - фитомасса в абсолютно сухом состоянии стволов с корой, скелета ветвей, хвои, надземной части и корней (соответственно P_{st} , P_{br} , P_f , P_a и P_r), кг; V_t – объем ствола в коре, дм^3 ; A – возраст дерева, лет; H – высота дерева, м; D – диаметр ствола на высоте груди, см; N – густота древостоя, тыс. экз./га; Zon – номер зонального пояса (см. рис. 2); ICC - индекс континентальности климата по Ценкеру-Борисову (см. рис. 3).

Известно, что биологическая продуктивность лесного насаждения определяется несколькими факторами: онтогенетическим, ценогическим, эдафическим и др. Одними лишь климатическими факторами она может определяться только в первом приближении. Например, изменчивость фитомассы насаждений на территории России объясняется двумя климатическими факторами – суммой положительных дневных температур и индексом влажности – на 26% и с учетом породного состава – на 34%, а изменчивость годичного прироста фитомассы – соответственно на 20 и 28% (Krankina et al., 2005). Поэтому в последние годы в регрессионные уравнения в качестве переменных, объясняющих изменчивость биопродуктивности насаждений на трансконтинентальном уровне, включаются, наряду с климатическими параметрами, массообразующие (таксационные, дендрометрические) характеристики древостоев (Усольцев, 1998, 2001, 2003, 2007, 2016г). Аналогичный подход может быть применен и при климатической ординации фитомассы на уровне деревьев.

Достаточно полная база данных о фитомассе деревьев в широком диапазоне лесорастительных условий дает возможность обобщения их биопродуктивности в глобальном масштабе. Обилие факторов, определяющих биопродуктивность лесных экосистем и частично зафиксированных в базе данных, порождает проблему обеспечения корректности при экстраполяции эмпирических данных на тот или иной регион.

Применительно к лесному фитоценозу регрессионная модель представляет собой результат статистического оценивания параметров системы математических выра-

жений, которые характеризуют некоторую биологическую концепцию о взаимосвязи явлений. При исследовании сложных систем изолированные оценки редко дают адекватные результаты. Обычно динамика лесных экосистем может быть наиболее эффективно описана с помощью не одной, а нескольких взаимозависимых характеристик. Раздельное описание подобных зависимостей регрессионными уравнениями приводит к тому, что полученные оценки не будут сбалансированными.

Математические зависимости, объединенные в единую логически непротиворечивую концепцию, образуют систему связанных (совместимых) уравнений, основным достоинством которой является внутренняя согласованность описываемых закономерностей. В цепочке регрессионных уравнений, рассчитываемых по одному в логически последовательном порядке, зависимая переменная предыдущего уравнения входит в последующее в качестве одной из независимых переменных (Четыркин, 1977; Четыркин, Калихман, 1982; Усольцев, 1998). Последнее уравнение цепочки - основное, а все предшествующие – вспомогательные.

Подобная «цепочка» последовательно связанных уравнений, объясняющих изменчивость фракционной структуры фитомассы деревьев, применена и в настоящем исследовании. При этом для аналитического описания закономерностей изменения фитомассы деревьев в трансконтинентальных климатически обусловленных градиентах применён многофакторный подход, основанный на эмпирических регрессиях, учитывающих как основные климатические характеристики территории Евразии, выраженные числом и мерой, так и основные географически локализованные массообразующие (дендрометрические) показатели деревьев той или иной древесной породы.

Известно, что продуктивность древесного ценоза определяется по соотношению его возраста и высоты, что положено в основу бонитировки лесных древостоев по специальным бонитетным шкалам (Орлов, 1928). Поэтому в качестве базовой принята зависимость $H = f(A)$. Рекурсивный принцип регрессионного моделирования обеспечивает последовательное накопление возрастных трендов массообразующих показателей и фитомассы деревьев по цепочке взаимозависимых уравнений (Четыркин, 1977; Usoltsev et al., 2014), когда региональные различия предшествующей зависимости кумулятивно накладываются на предыдущий результат. Завершается последовательность зависимостью (1). Итоговая система уравнений имеет общий вид:

$$H=f(A, Zon, ICC) \rightarrow D=f(A, H, Zon, ICC) \rightarrow N=f(A, H, D, Zon, ICC) \rightarrow \\ \rightarrow Vt=f(A, H, D, N, Zon, ICC) \rightarrow Pi \text{ или } Pi/Pa = f(A, H, D, N, Vt, Zon, ICC). \quad (2)$$

Все переменные подвергнуты логарифмической трансформации, поскольку без этой процедуры система уравнений (2) на крайних значениях независимых переменных даёт существенные искажения вследствие нелинейности исследуемых зависимостей (Usoltsev et al., 2014). Чтобы фракционный состав расчетных значений фитомассы деревьев был сбалансирован (в соответствии с принципом аддитивности), показатель Pi в системе (2) модифицирован: он соответствует лишь надземной фитомассе Pa , а остальные фракции представлены относительными величинами (Pf/Pa) , (Pbr/Pa) , (Pst/Pa) и (Pr/Pa) , выраженными в процентах к надземной фитомассе.

Результаты и их обсуждение

Результаты последовательного расчета констант уравнений (2) сведены в табл. 2. Все регрессионные коэффициенты при независимых переменных значимы на уровне P_{95} .

Таблица 2
Характеристика уравнений (2) для деревьев лесобразующих пород Евразии

Зависимые переменные	Двухвойные сосны											R ² *	SE*
	Константы и независимые переменные												
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ (lnA) ²	a ₃ (lnH)	a ₄ (lnH) ²	a ₅ (lnD)	a ₆ (lnD) ²	a ₇ (lnN)					
ln(H)	-0,7733	1,6356	-0,1074	-	-	-	-	-	-	-	-	0,593	0,47
ln(D)	2,2240	-1,4203	0,1855	1,2554	-	-	-	-	-	-	-	0,933	0,27
ln(N)	-5,993	5,4729	-0,7522	-3,2095	0,4528	0,4378	-0,2002	-	-	-	-	0,763	0,87
ln(Vt)	-2,1564	-	-	0,7851	-	1,8535	-	-0,0415	-	-	-	0,994	0,15
ln(Pa)	2,0516	0,0370	-	-0,5048	-	0,0760	-	-	-	-	-	0,992	0,17
ln((Pff/Pa)100)	6,6937	-0,9011	0,0530	-1,7390	-	0,4156	-	0,0273	-	-	-	0,771	0,39
ln((Pbr/Pa)100)	5,3789	1,1287	-0,1592	-2,1380	-	0,7084	-	-0,7503	-	-	-	0,574	0,36
ln((Pst/Pa) 100)	2,2356	0,7635	-0,0874	0,5001	-	-0,0325	-	0,0386	-	-	-	0,785	0,09
ln((Pr/Pa) 100)	2,3259	1,4222	-0,1944	0,1851	-	0,4009	-	-0,2738	-	-	-	0,632	0,20
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные											R ² *	SE*
	a ₈ (lnN) ²	a ₉ (lnVt)	a ₁₀ ln(Zon)	a ₁₁ (lnZon) ²	a ₁₂ ln(JCC)								
ln(H)	-	-	0,1401	-	-0,3662	-	-	-	-	-	-	0,593	0,47
ln(D)	-	-	-2,6632	1,4960	0,2037	-	-	-	-	-	-	0,933	0,27
ln(N)	-	-	5,2636	-2,9236	0,0886	-	-	-	-	-	-	0,763	0,87
ln(Vt)	-	-	1,0401	-0,5719	-0,1239	-	-	-	-	-	-	0,994	0,15
ln(Pa)	-	1,06889	-1,5342	0,8195	-0,3507	-	-	-	-	-	-	0,992	0,17
ln((Pff/Pa)100)	-0,0123	0,2240	-1,0582	0,5845	0,1183	-	-	-	-	-	-	0,771	0,39
ln((Pbr/Pa)100)	-	0,2986	-4,7656	2,4687	-0,1211	-	-	-	-	-	-	0,574	0,36
ln((Pst/Pa) 100)	-	-0,1106	-	-0,0289	-0,0354	-	-	-	-	-	-	0,785	0,09
ln((Pr/Pa) 100)	0,1316	-0,2172	-4,0384	2,0780	-0,1547	-	-	-	-	-	-	0,632	0,20
Зависимые переменные	Лиственницы											R ² *	SE*
	Константы и независимые переменные												
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ (lnA) ²	a ₃ (lnH)	a ₄ (lnH) ²	a ₅ (lnD)	a ₆ (lnD) ²	a ₇ (lnN)					
ln(H)	-0,1297	1,5185	-0,1224	-	-	-	-	-	-	-	-	0,593	0,47
ln(D)	-0,5653	-0,6299	0,0800	1,8984	-0,1319	-	-	-	-	-	-	0,933	0,27
ln(N)	13,889	-5,1420	0,5120	1,7055	-0,6051	-	-	-	-	-	-	0,763	0,87
ln(Vt)	-2,6708	0,0736	-	1,0029	-	1,6330	-	-0,0400	-	-	-	0,994	0,15
ln(Pa)	-0,0950	-0,0587	-	-0,3126	-	0,2197	-	-0,0496	-	-	-	0,992	0,17
ln((Pff/Pa)100)	4,6114	-0,5047	-	-2,1497	-	-	-	-	-	-	-	0,771	0,39
ln((Pbr/Pa)100)	9,5995	-1,5954	0,1251	-1,8927	-	0,4313	-	-0,1480	-	-	-	0,574	0,36

Продолжение таблицы 2

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные										R ² *	SE*
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ (lnA) ²	a ₃ (lnH)	a ₄ (lnH) ²	a ₅ (lnD)	a ₆ (lnD) ²	a ₇ (lnN)				
	a ₈ (lnN) ²	a ₉ (lnVt)	a ₁₀ ln(Zon)	a ₁₁ (lnZon) ²	a ₁₂ ln(ICC)							
ln((Pst/Pa)100)	2,5836	0,2119	-0,0141	0,3787	-	-	-	0,2033	-	-	-	-
ln((Pr/Pa)100)	3,4426	-	-	-2,6444	-	-	-2,4823	-	-	-	-	-
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные										R ² *	SE*
ln(H)	-	0,9083	-0,1302	-0,1302	-0,5053	0,547	0,37					
ln(D)	-	-1,0194	0,7572	0,1417	0,929	0,21						
ln(N)	-	3,3013	-2,3455	1,0099	0,790	0,60						
ln(Vt)	-	-	0,1718	0,0701	0,993	0,16						
ln(Pa)	-	0,9423	-0,1042	-	0,1629	0,993	0,15					
ln((Pff/Pa)100)	-	0,5074	-	-0,3781	0,4588	0,704	0,40					
ln((Pbr/Pa)100)	-	0,3096	-0,2822	-	0,1666	0,669	0,32					
ln((Pst/Pa)100)	-0,0113	-0,0836	-	0,0307	-0,0586	0,651	0,07					
ln((Pr/Pa)100)	-	1,6485	-1,6488	1,2409	1,4846	0,746	0,42					
Ели и пихты												
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные										R ² *	SE*
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ (lnA) ²	a ₃ (lnH)	a ₄ (lnH) ²	a ₅ (lnD)	a ₆ (lnD) ²	a ₇ (lnN)				
	a ₈ ln(Zon)	a ₉ (lnZon) ²	a ₁₀ ln(ICC)									
ln(H)	-7,4652	2,9657	-0,2710	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ln(D)	3,2450	-0,9697	0,1297	1,1084	-	-	-	-	-	-	-	-
ln(N)	10,033	-0,4444	-	0,4489	-0,2026	-	-	-	-	-	-	-
ln(Pa)	-0,9762	-0,0624	-	-1,4474	0,4432	1,8078	-	-0,0211	-	-	-	-
ln((Pff/Pa)100)	7,1426	-2,0334	0,2106	-0,5837	-	0,3304	-	0,0743	-	-	-	-
ln((Pbr/Pa)100)	1,2928	-0,0890	-	1,0142	-0,3988	-0,3582	0,1522	-0,0471	-	-	-	-
ln((Pst/Pa)100)	1,7943	1,0009	-0,1076	0,3899	-	-0,2014	-	0,0282	-	-	-	-
ln((Pr/Pa)100)	0,2184	0,3992	-	-0,2443	-	0,1747	-	-	-	-	-	-
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные										R ² *	SE*
ln(H)	6,4783	-2,9873	-	a ₁₀ ln(ICC)	0,723	0,50						
ln(D)	-3,6418	1,8659	-	-	0,937	0,24						
ln(N)	-6,9833	3,4051	-	-1,0998	0,450	0,64						
ln(Pa)	-0,3527	-	-	0,2276	0,981	0,28						
ln((Pff/Pa)100)	-0,4321	-	-	0,2558	0,762	0,31						

Окончание таблицы 2										
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					R ² *				
	a ₈ ln(Zon)	a ₉ (lnZon) ²	a ₁₀ ln(ICC)							
ln((Pbr/Pa)100)	-0,2641	-	0,4995			0,580		0,39		
ln((Pst/Pa) 100)	0,2269	-	-0,1299			0,792		0,14		
ln((Pr/Pa) 100)	-3,2565	1,8121	0,7659			0,305		0,34		
Берёзы										
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные									
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ (lnA) ²	a ₃ (lnH)	a ₄ (lnH) ²	a ₅ (lnD)	a ₆ (lnD) ²	a ₇ (lnN)		
ln(H)	-0,6844	1,4306	-0,0983	-	-	-	-	-		
ln(D)	-0,3775	-0,4319	0,0748	0,4982	0,1490	-	-	-		
ln(N)	4,7666	-	-0,1810	0,7801	-0,2030	-0,7995	0,1350	-		
ln(Vt)	-2,9720	-0,0428	-	1,0372	-	1,7219	-	-0,0203		
ln(Pa)	-0,6728	0,1971	-	-0,2706	-	0,3020	-	-		
ln((Pff/Pa)100)	11,8068	-5,1808	0,6280	-0,6230	-	1,5343	-	-0,0662		
ln((Pbr/Pa)100)	13,1529	-4,5817	0,5781	-1,1067	-	0,8605	-	-0,1197		
ln((Pst/Pa) 100)	15,4934	-4,3252	0,5558	-0,6873	0,1823	-1,6553	0,3038	-0,0438		
ln((Pr/Pa) 100)	-15,6837	9,6160	-1,2696	-	-	0,5084	-	-0,0588		
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные									
	a ₈ (lnN) ²	a ₉ (lnVt)	a ₁₀ (lnVt) ²	a ₁₀ ln(Zon)	a ₁₁ (lnZon) ²	a ₁₂ ln(ICC)	R ² *		SE*	
ln(H)	-	-	-	-0,0438	0,0647	-0,1598	0,752		0,31	
ln(D)	-	-	-	-0,8605	0,2254	0,4117	0,827		0,31	
ln(N)	-	-	-	5,0279	-3,0865	-0,7487	0,689		0,64	
ln(Vt)	-	-	-	0,3764	-0,2674	0,0925	0,991		0,16	
ln(Pa)	-	0,9406	-	-0,1306	0,0819	-0,0809	0,980		0,27	
ln((Pff/Pa)100)	-	-0,6026	-	0,8693	-0,6327	0,0404	0,760		0,32	
ln((Pbr/Pa)100)	-	-	-	-1,1410	0,8751	-0,1495	0,505		0,34	
ln((Pst/Pa) 100)	-0,0353	0,5632	-0,0690	0,7244	-0,4518	-0,3122	0,679		0,14	
ln((Pr/Pa) 100)	-	-0,1772	-	-0,7565	0,7683	0,0841	0,759		0,26	

* R² - коэффициент детерминации, SE – стандартная ошибка уравнения.

Полученная рекурсивная система уравнений (2) протабулирована в следующей последовательности. Вначале получены значения H по задаваемым величинам A , Zon , ICC , затем полученный тренд корректируется путем табулирования следующего уравнения – для D по тем же A , Zon , ICC и полученным значениям H , статус которой сменился, и ранее зависимая переменная на данном этапе стала независимой (по рекурсивному принципу). Далее коррекция тренда осуществляется табулированием следующего уравнения – для N по полученным значениям H и D и тем же A , Zon , ICC , далее – для Vt и, наконец, табулируются уравнения для Pa , (Pf/Pa) , (Pbr/Pa) , (Pst/Pa) и (Pr/Pa) по полученным значениям предыдущих уравнений системы (2). При табулировании уравнений (2) для фитомассы в качестве базовой принята зависимость для Pa , значения для Pf , Pst , и Pr получены в долях от Pa , а показатели Pbr рассчитаны (в соответствии с принципом аддитивности) по разности между Pa , с одной стороны, и Pf и Pst – с другой.

Анализ полученных регрессионных коэффициентов при независимых переменных уравнений (2) в табл. 2 позволяет сделать некоторые предварительные выводы. В частности, при одном и том же возрасте дерева 50 (для берёз) или 100 лет (для хвойных) его высота монотонно увеличивается в направлении с севера на юг и снижается в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии. Густота древостоев в направлении от океанических побережий к полюсу континентальности монотонно возрастает у сосен и лиственниц и снижается у елей, пихт и берёз.

Из полученных возрастных трендов Pa , Pf , Pbr , Pst , и Pr , распределенных по трём зональным поясам (со 2-го по 4-й) для сосен, елей и пихт и по четырём (с 1-го по 4-й) для лиственниц и берёз, и в каждом поясе – по значениям индексов континентальности в диапазоне от 35 до 95, взяты значения фитомассы деревьев для возраста 100 лет для хвойных и 50 лет для берёз и построены графики (рис. 4-11).

На рис. 4-11 показано изменение структуры фитомассы по зональным поясам и в связи с континентальностью климата для деревьев в возрасте 50 или 100 лет с учетом их региональных различий по высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев. Фитомасса всех фракций деревьев в направлении с севера на юг монотонно увеличивается у сосен и лиственниц, уменьшается у берёз и имеет максимум в 3-м (южном умеренном) поясе. Динамика фитомассы 100-летних сосен, лиственниц, елей и пихт в направлении от океанических побережий к полюсу континентальности характеризуется монотонным снижением надземной и общей фитомассы, а в соотношении фракций в том же градиенте общей закономерности не выявлено. Надземная и общая фитомасса берёз в отличие от хвойных характеризуется некоторым повышением по мере увеличения континентальности климата. Наличие некоторой несогласованности древесных пород по характеру изменения фитомассы деревьев, возможно, объясняется различными трендами морфоструктуры древостоев в тех или иных градиентах.

Заключение

На основе сформированной базы данных о фитомассе 5764 модельных деревьев полученных на пробных площадях на территории от Западной Европы до Китая и Японии, установлены статистически значимые трансконтинентальные изменения фракционного состава фитомассы деревьев с учетом региональных различий деревьев по возрасту, высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев.

Система полученных трансконтинентальных зависимостей даёт возможность ее регионального применения при оценке фитомассы древостоев на основе локальных данных перечета деревьев на единице площади. Полученные результаты могут быть полезны при оценке приходной части углеродного цикла в насаждениях лесобразую-

ших пород, что важно при осуществлении мероприятий по стабилизации климата, а также при валидации результатов имитационных экспериментов по оценке углеродо-депонирующей способности лесов.

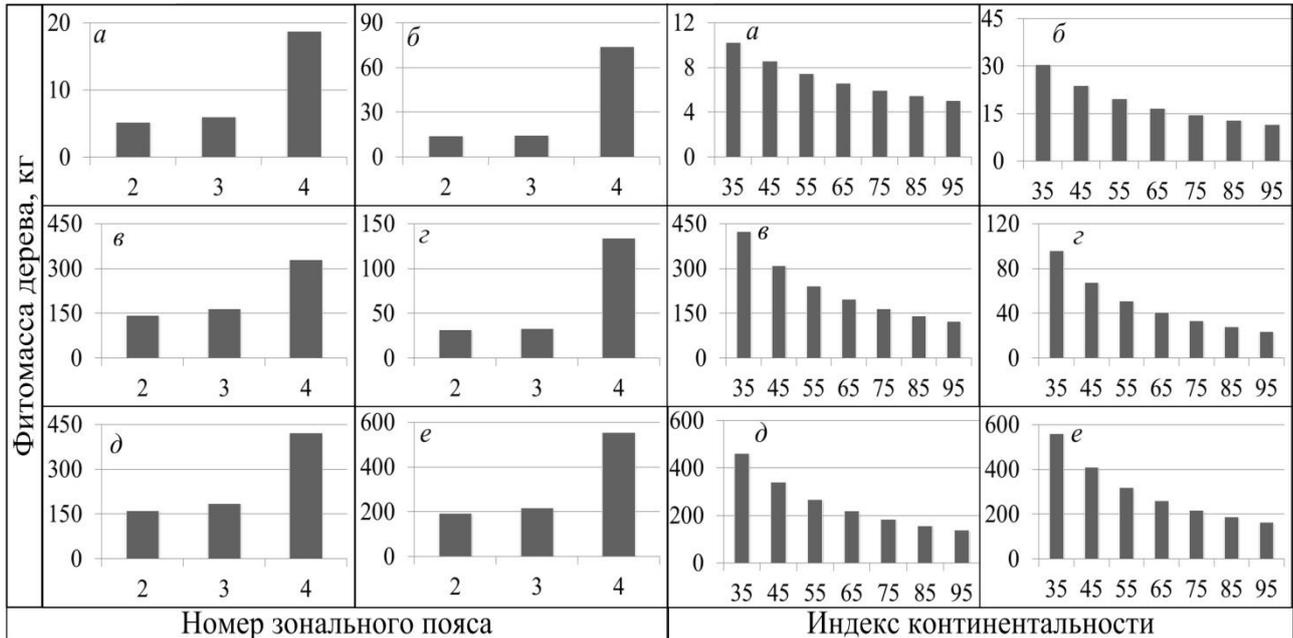


Рис. 4. Изменение расчетных показателей фитомассы деревьев двухвойных сосен, кг: хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет по зональным поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%.

Рис. 5. Связь расчетных показателей фитомассы деревьев двухвойных сосен (кг): хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет с индексом континентальности, по Ценкеру-Борисову, в южном умеренном зональном поясе (номер 3 на рис. 2).

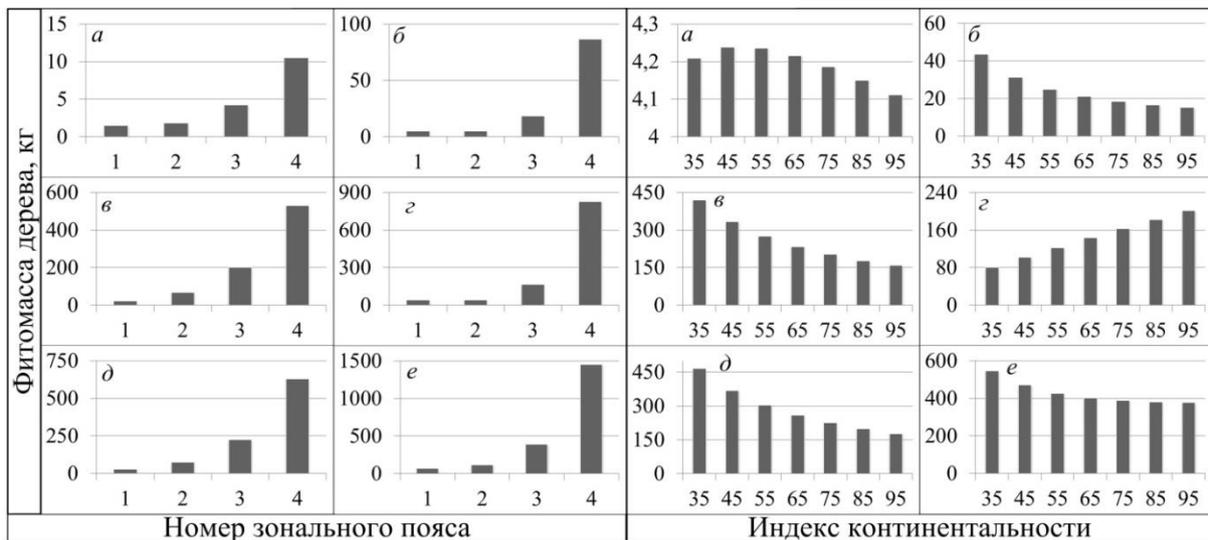


Рис. 6. Изменение параметров фитомассы деревьев лиственницы, кг: хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет по зональным поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%.

Рис. 7. Связь расчетных показателей фитомассы деревьев лиственницы (кг): хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет с индексом континентальности, по Ценкеру-Борисову, в южном умеренном поясе.

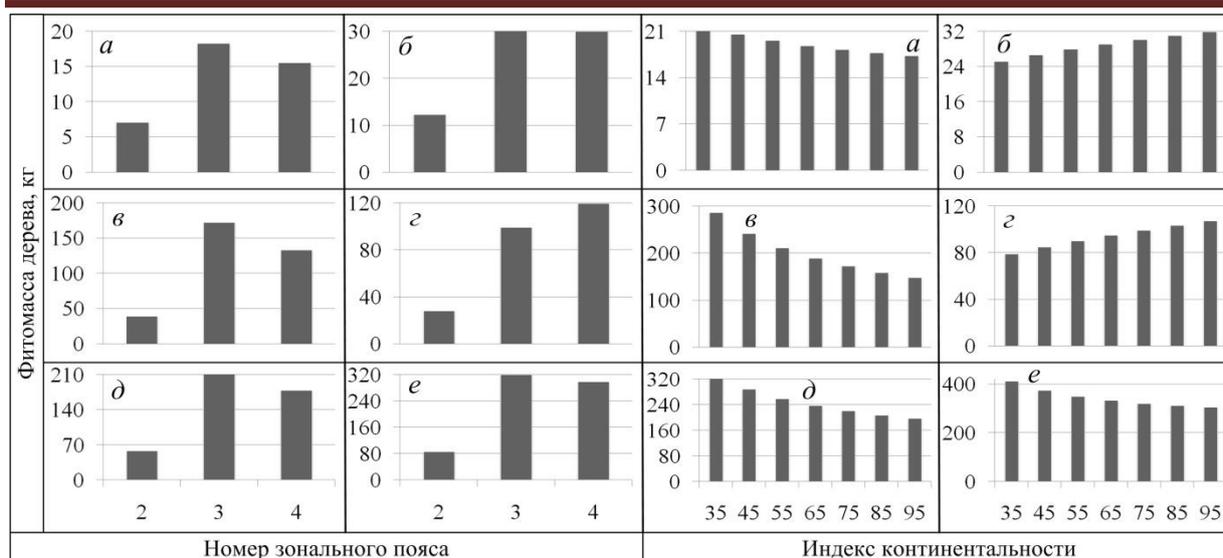


Рис. 8. Изменение расчетных показателей фитомассы деревьев елей и пихт, кг: хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет по климатическим поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%

Рис. 9. Связь расчетных показателей фитомассы деревьев елей и пихт (кг): хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет с индексом континентальности, по Ценкеру-Борисову, в южном умеренном климатическом поясе

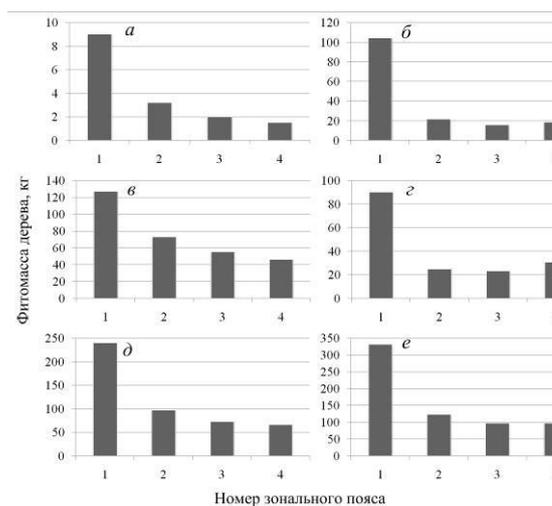


Рис. 10. Изменение расчетных показателей фитомассы деревьев берёз, кг: листвы (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 50 лет по зональным поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%.

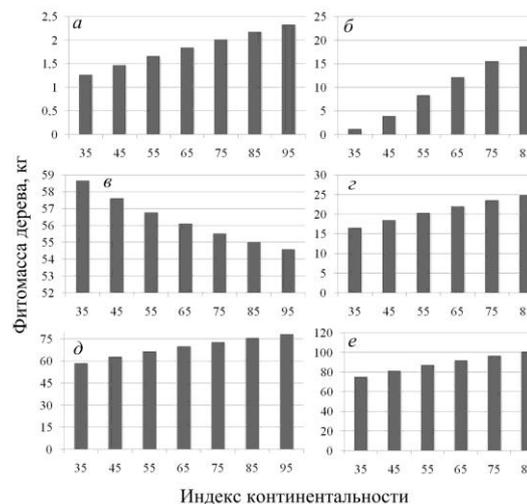


Рис. 11. Связь расчетных показателей фитомассы деревьев берёз (кг): листвы (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 50 лет с индексом континентальности, по Ценкеру-Борисову, в южном умеренном зональном поясе.

Список использованной литературы

- Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. М.: МГУ, 1974. 300 с.
 Байзаков С.Б. Некоторые закономерности накопления древесной зелени в сосновых лесах Казахстана и перспективы ее промышленного использования: Автореф. дис... к.с.-х.н. Спец. 562 - лесоводство. Алма-Ата: КазСХИ, 1969. 28 с.
 Борисов А.А. Климаты СССР. М.: Просвещение, 1967. 296 с.
 Бузыкин А.И., Пишеничникова Л.С., Суховольский В.Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.

Ворожук А.Н. Имитация развития экологических систем и системный анализ // Число и мысль. Вып. 5. М., 1982. С. 142-175.

Лиена И.Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.

Мазуров В.Д. Формальное и неформальное в математическом моделировании задач планирования и диагностики // Число и мысль. Вып 10. М., 1987. С. 54-74.

Мак-Лоун Р.Р. Математическое моделирование – искусство применения математики // Математическое моделирование. М.: Мир, 1979. С. 9-20.

Орлов М.М. Лесная вспомогательная книжка для таксации и технических расчетов. М.: Государственное техническое издательство, 1928. 757 с.

Толмачев А.И. Основы учения об ареалах: Введение в хорологию растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. 100 с.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 191 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>).

Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352>).

Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 216 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3376>).

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3224>).

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. 708 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3280>).

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 406 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3303>).

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3281>).

Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013а. 553 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2627>).

Усольцев В.А. Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013б. 603 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2771>).

Усольцев В.А. Удельная чистая первичная продукция лесообразующих пород Евразии в трансконтинентальных градиентах: методы и неопределённости // Сибирский лесной журнал. 2016а. № 4. С. 4–14. (DOI: 10.15372/SJFS20160407).

Усольцев В.А. Трансконтинентальные климатические градиенты удельной чистой первичной продукции лесообразующих древесных пород Евразии // Экопотенциал. 2016б. № 3 (15). С. 7-17 (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5721>).

Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2016в. 336 с. (<http://management-usfeu.ru/Uploads/Publikazii/Usolzev072016.pdf>).

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов). Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2016г. 384 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5634>).

Усольцев В.А., Канунникова О.В., Платонов И.В. Исследование ошибок при оценке углеродного пула лесов посредством аллометрических моделей // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов. Матер. международной конфер. С.-Петербург: С.-ПбГЛТА, 2006. С. 363-370.

Чернышев В.Д. Пути физиолого-энергетических адаптаций хвойных в экстремальных условиях // Биологические проблемы Севера. VI симпозиум. Вып. 5. Якутск: Ин-т биологии ЯФ СО АН СССР, 1974. С. 13-17.

Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.

Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. М.: Финансы и статистика, 1982. 319 с.

Akaike H. A new look at statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. 1974. AU-19. P. 716-722.

Baskerville G.L. Dry-matter production in immature balsam fir stands // Forest Sci. Monograph. 1965. No. 9. P. 1-42.

Bijak Sz., Zasada M., Bronisz A., Bronisz K., Czajkowski M., Ludwisiak Ł., Tomusiak R., Wojtan R. Estimating coarse roots biomass in young silver birch stands on post-agricultural lands in central Poland // Silva Fennica. 2013. Vol. 47. No. 2, article id 963. 14 p.

Bonnor G.M. Inventory of forest biomass in Canada. Canadian Forestry Service. Petawawa National Forestry Institute. 1985. 63 pp.

Burger H. Der Kronenaufbau gleichalteriger Nadelholzbestände // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1939. Bd. XXI. H. 1. S. 5-57 (Sonderabdruck).

Cai S., Kang X., Zhang L. Allometric models for aboveground biomass of ten tree species in northeast China // Ann. For. Res. 2013. Vol. 56. No. 1. P. 105-122.

Case B.S., Hall R.J. Assessing prediction errors of generalized tree biomass and volume equations for the boreal forest region of west-central Canada // Can. J. For. Res. 2008. Vol. 38. P. 878-889.

Crow T.R. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands // Forest Science. 1978. Vol. 24. No. 1. P. 110-114.

Finney D.J. On the distribution of a variable whose logarithm is normally distributed // Journal of the Royal Statistical Society. 1941. Vol. B7. No. 2. P. 155-161.

Ghosh S. A new graphical tool to detect non-normality // Journal of the Royal Statistical Society. 1996. Vol. B58. No. 4. P. 691-702.

Hosoda K., Iehara T. Aboveground biomass equations for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* in Japan // Journal of Forest Research. 2010. Vol. 15. No. 5. P. 299-306 (DOI 10.1007/s10310-010-0192-y).

Jenkins J.C., Chojnacky D.C., Heath L.S., Birdsey R.A. Comprehensive database of diameter-based regressions for North American tree species // USDA Forest Service Northeastern Research Station. General Technical Report NE-319. 2004. 45 p.

Jokela E.J., Van Gurp K.P., Briggs R.D., White E.H. Biomass estimation equations for Norway spruce in New York // Can. J. For. Res. 1986. Vol. 16. No. 2. P. 413-415.

Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., et al. Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia // Forest Ecology and Management. 2006. Vol. 222. P. 314-325.

Krankina O.N., Houghton R.A., Harmon M.E., Hogg E.H., Butman D., Yatskov M., Huso M., Treyfeld R.F., Razuvaev V.N., Spycher G. Effects of climate, disturbance, and species on forest biomass across Russia // Can. J. For. Res. 2005. Vol. 35. P. 2281-2293.

Mund M., Kummert E., Hein M., Bauer G.A., Schulze E.-D. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 171. P. 275-296.

Muukkonen P., Mäkipää R. Biomass equations for European trees: Addendum // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40. No. 4. P. 763-773.

Penner M., Power K., Muhairwe C. et al. Canada's forest biomass resources: deriving estimates from Canada forest inventory // Information report BC-X-370. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. 1997. 33 p.

Ranneby B., Cruse T., Högglund B., Jonasson H., Swärd J. Design a new national forest survey for Sweden // *Stud. For. Suec.* 1987. Vol. 177. P. 1-29.

Scarascia-Mugnozza G., Bauer G.A., Persson H. et al. Tree biomass, growth and nutrient pools // E.-D. Schulze (ed.). Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2000. P. 49-62 (Ecological Studies. V. 142).

Stark H., Nothdurft A. and Bauhus J. Allometries for widely spaced *Populus* ssp. and *Betula* ssp. in nurse crop systems // *Forests*. 2013. Vol. 4. P. 1003-1031(doi:10.3390/f4041003).

Usoltsev V.A. Sample tree biomass data for Eurasian forests. CD-version in English and Russian. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University. 2015. ISBN 978-5-94984-521-9 (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/4931>).

Usoltsev V.A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests. CD-version in English and Russian. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University. 2016. ISBN 978-5-94984-600-1 (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6103>).

Usoltsev V.A., Somogyi Z., Chasovskikh V.P., Noritsina Yu.V. Climatic Gradients of Biomass and Net Primary Production of Mixed *Picea-Abies* Forests in Eurasia // *Environment and Natural Resources Research*. 2014. Vol. 4. No 2. P. 102-114 (<http://dx.doi.org/10.5539/enrr.v4n2p102>).

Wang J.R., Zhong A.L., Kimmins J.P. Biomass estimation errors associated with the use of published regression equations of paper birch and trembling aspen // *North. J. Appl. For.* 2002. Vol. 19. No. 3. P. 128-136.

Wirth C., Schulze E.-D., Schulze W., von Stünzner-Karbe D., Ziegler W., Miljukova I.M. et al. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by competition and fire // *Oecologia*. 1999. Vol. 121. P. 66-80.

Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24. P. 121-139.

Zianis D., Xanthopoulos G., Kalabokidis K., Kazakis G., Ghosn D., Roussou O. Allometric equations for aboveground biomass estimation by size class for *Pinus brutia* Ten. trees growing in North and South Aegean islands, Greece // *European Journal of Forest Research*. 2011. Vol. 130. No. 2. P. 145-160.

Рецензент статьи: Залесов Сергей Вениаминович, проректор по научной работе Уральского государственного лесотехнического университета, доктор с.-х. наук, профессор.